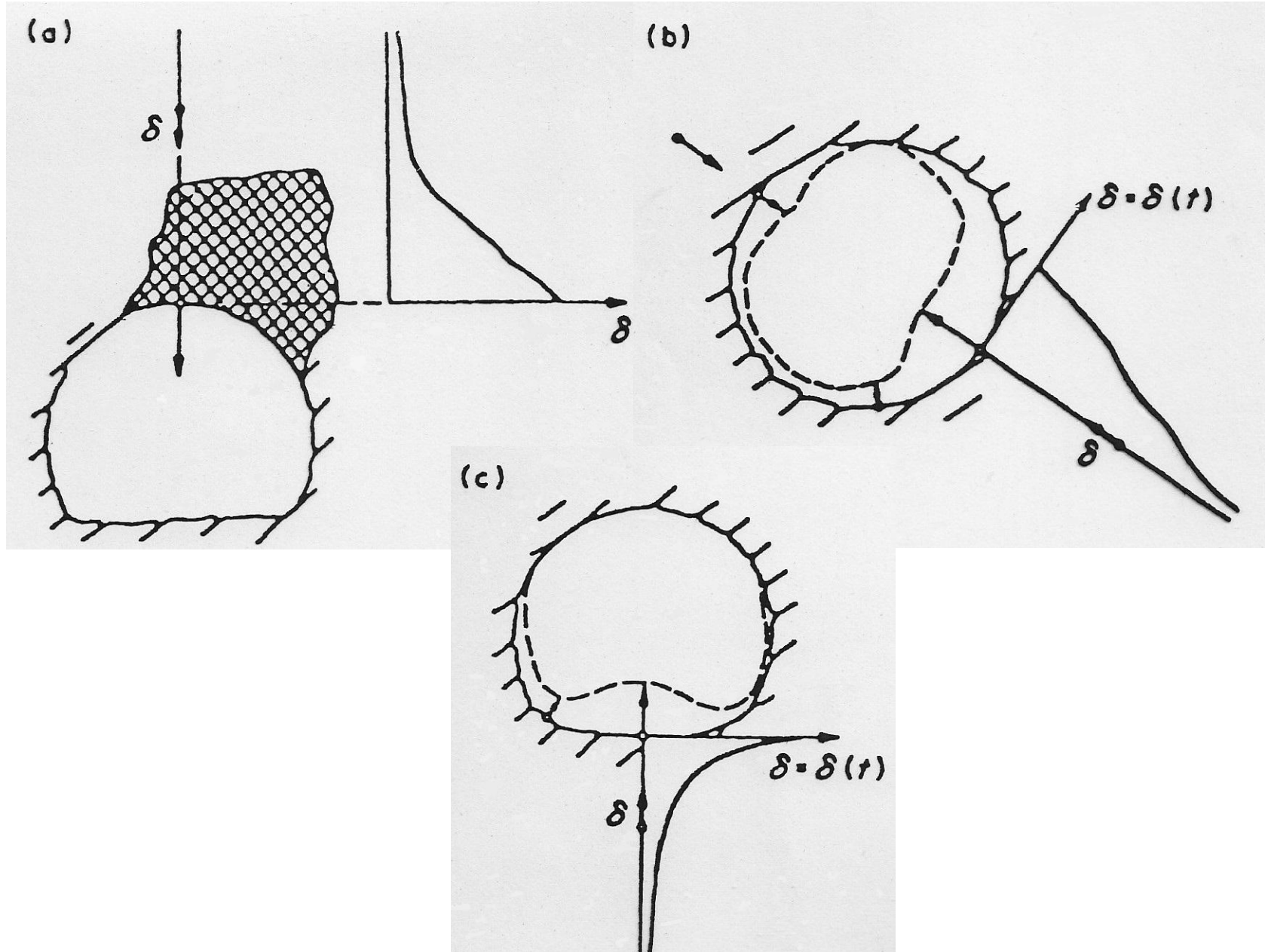


# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Βασίλειος Παπαδόπουλος

**ΠΙΕΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΕΩΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΠΙΕΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΕΩΣ



# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

R.Q.D. %	Κατάσταση βράχου	Φορτίο Βράχου $h_p$		Παρατηρήσεις
		Αρχικό	Τελικό	
98	1. Σκληρός και συμπαγής	0	0	Επένδυση για έκρηξη
	2. Σκληρός στρωματώδης ή σχιστώδης	0	0.25B	Συνήθεις οι εκτινάξεις σε μεγάλα βάθη
90	3. Μέτρια διακλασμένος	0	0.50B	Πλευρικές πιέσεις
75	4. Μέτρια διαχωρισμένος	0	0.25B έως 0.35C	$C = B + H_t$
50	5. Πολύ διαχωρισμένος και κερματισμένος	0 έως 0.60C	0.35C έως 1.10C	Λίγη ή καθόλου πλευρική πίεση $C = B + H_t$
25	6. Πλήρως κερμ/ένος		1.10C	Σημαντ. πλευρ. πίεση
2	7. Χαλίκια και άμμος	0.54C έως 1.20C	0.62C έως 1.38C	$C = B + H_t$ Πλευρική πίεση
	πυκνά χαλαρά	0.94C έως 1.20C	1.08C έως 1.38C	$ph = 0.3\gamma(0.5H_t + h_p)$
Α σ σ υ θ ν ε ε ν κ έ τ ς ι κ ο & ο	8. Συμπιεστό σε μέτριο βάθος		1.10C έως 2.10C	Μεγάλη πλευρική πίεση
	9. Συμπιεστό σε μεγάλο βάθος		2.10C έως 4.50C	Απαιτείται συνεχής αντιστήριξη $C = B + H_t$
	10. Διογκούμενο		75m	Αντιστήριξη δακτυλίου

Σημείωση: α. Στις κατηγορίες 4, 5, 6 και 7 δυνάμεθα να μειώσουμε το φορτίο  $h_p$  στο 50% της τιμής του εφόσον η στάθμη της σήραγγας είναι πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα.  
β. Το φορτίο που δρα στην αντιστήριξη είναι κατάλληλο για αντιστήριξη με χαλύβδινα πλαίσια.



# ΠΙΕΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΣ ΚΑΤΑ Ν.Γ.Ι.

## ΚΑΤΑ ΒΑΡΤΟΝ et ALI (N.G.I)

- Κατακόρυφες πιέσεις:

$$\rho = \frac{2 \cdot J_n^{\frac{1}{2}} \cdot Q^{-\frac{1}{3}}}{3 \cdot J_n} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Για 3 οικογένειες αδυνατειών  $J_n = 9$

άρα  $\rho = \frac{2}{J_n} \sqrt[3]{Q}$  ( $\text{Kg/cm}^2$ )

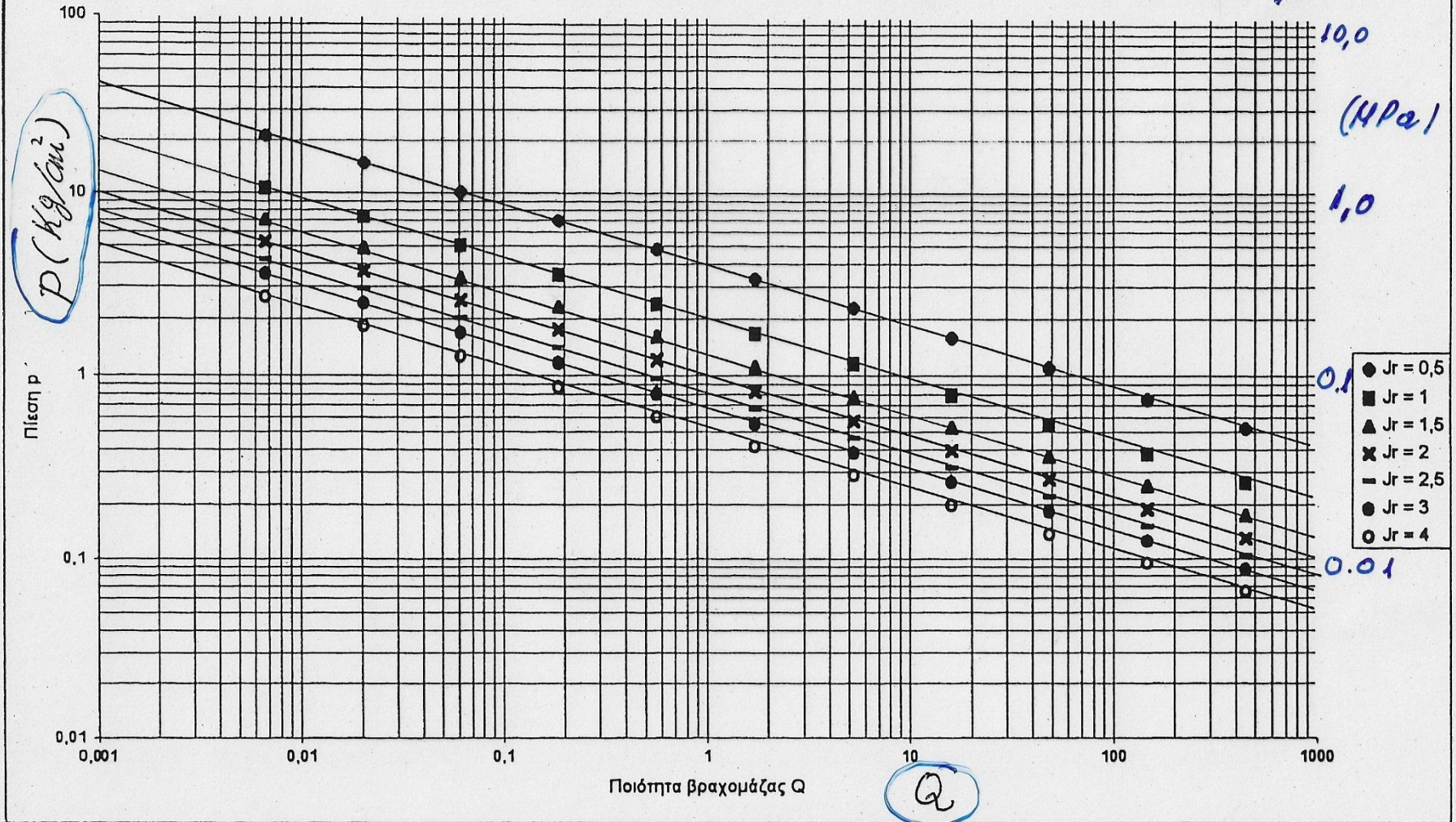
- Πλευρικές πιέσεις:

$$Q_{(h)} \rightarrow (1,0 \div 2,5) \cdot Q_{(v)}$$

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ ΚΑΤΑ Ν.Γ.Ι.

Συσχέτιση πίεσεως και ποιότητας βραχομάζας Q κατά τη σχέση  
 $RMR = 9 \cdot \ln Q + 45$

$\Rightarrow J_2 = 9$





# ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑ Ν.Γ.Ι.

Υπολογισμός βάζει υποθετική τιμή  $Q_h$ :

$$Q_h = (1 \div 2.5) Q_v \quad (Q_v = Q)$$

Παράδειγμα:

- Έστω βρόχος με:
- 3 οικόπεδες συνεχερών
  - Συντ. τραχύτητας  $J_r = 2$

- Για πολύ χαμηλή τιμή  $Q = 0,01$

$$\rho_v = \frac{2}{J_r \sqrt{Q}} \times 100 \text{ (kPa)} = 464 \text{ kPa}$$

Συμπερασμα  $Q_h \approx Q = 0,01$

→ άρα  $\rho_h = \rho_v = \underline{464 \text{ kPa}}$

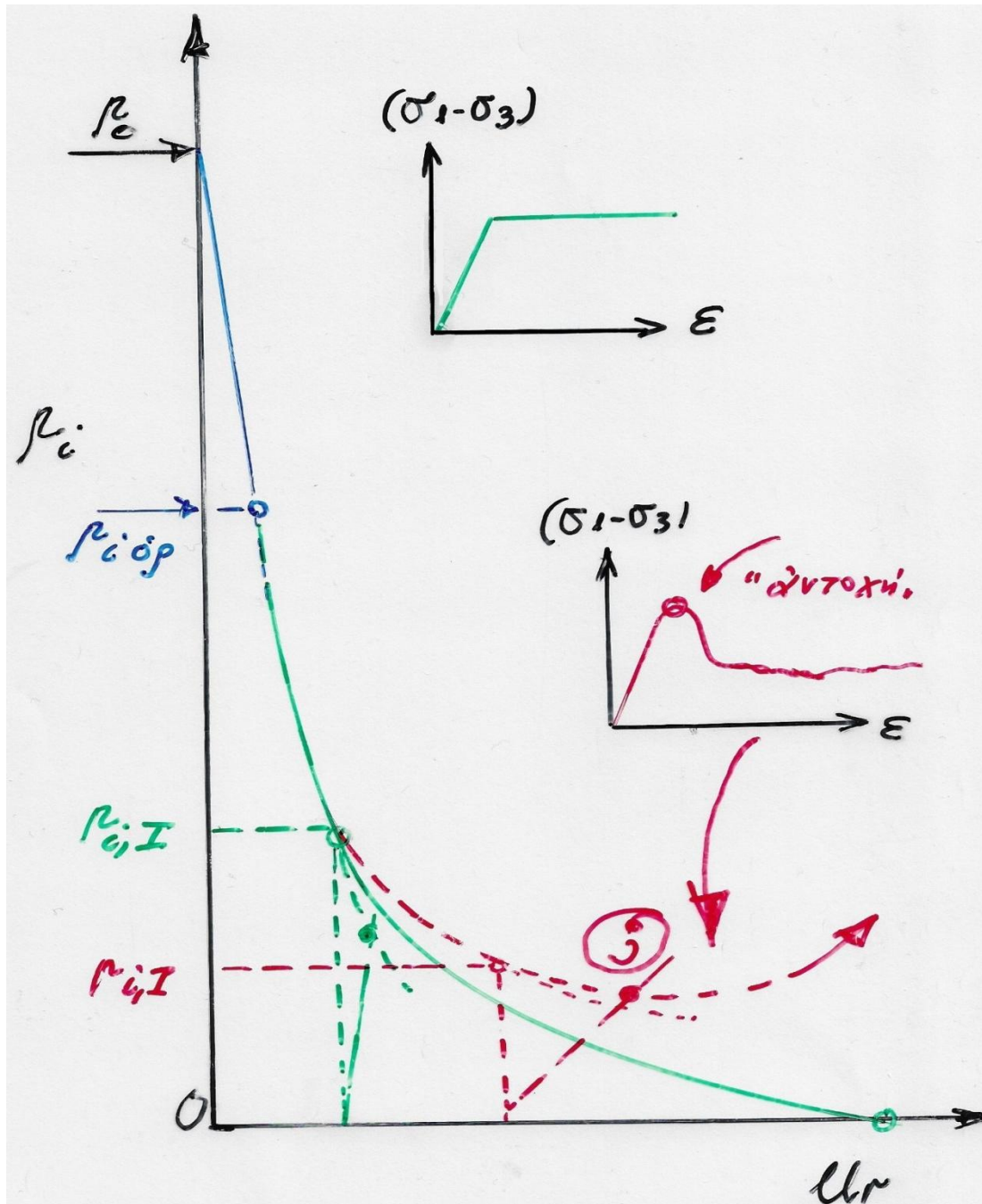
- Για αρκετά υψηλή τιμή  $Q = 5,00$

$$\rho_v = 58 \text{ kPa}$$

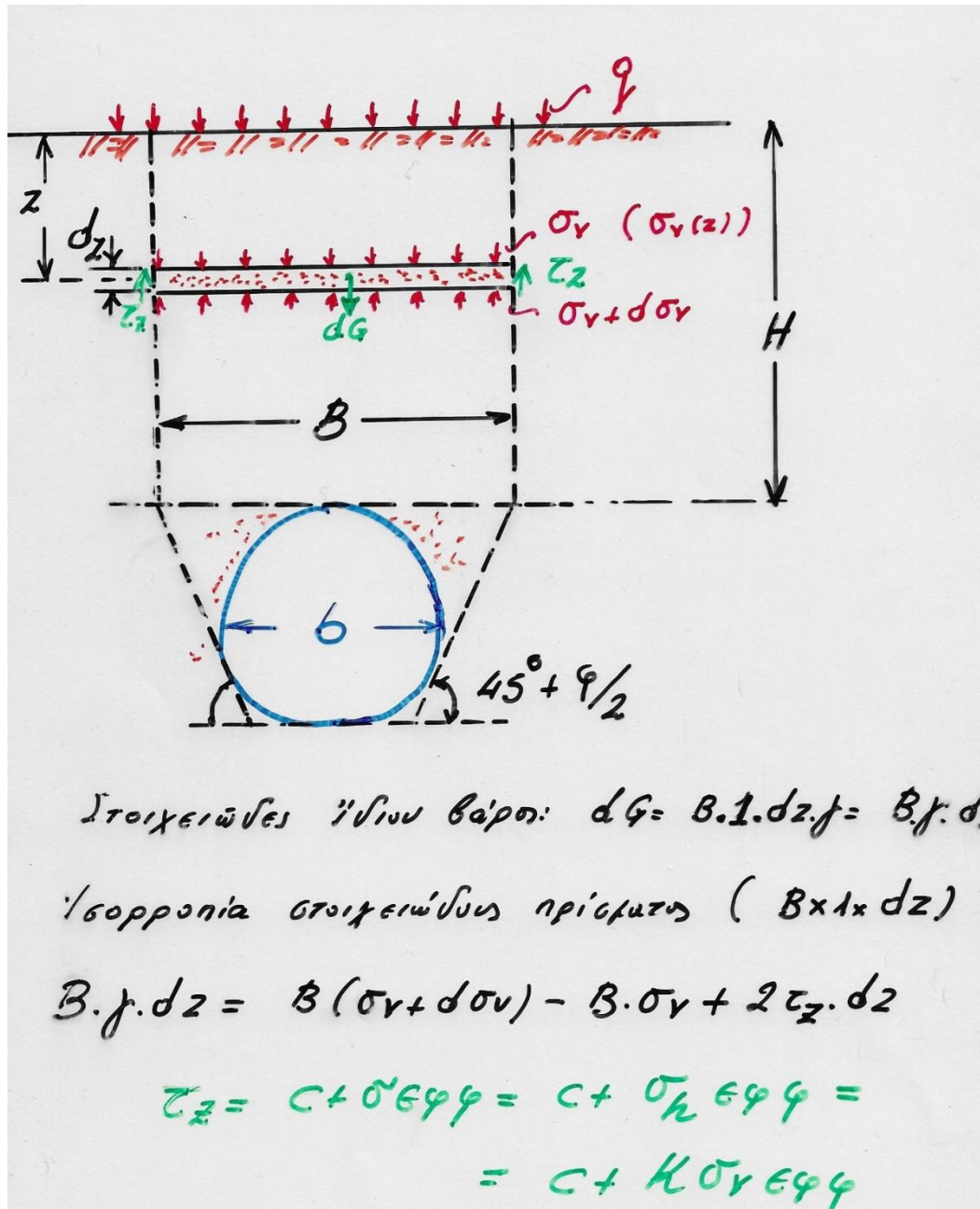
Συμπερασμα  $Q_h \approx 2,5Q$

→ άρα  $\rho_h = 0,736 \rho_v \approx \underline{43 \text{ kPa}}$

# ΠΙΕΣΕΙΣ ΧΑΛΑΡΩΣΕΩΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΕΩΣ



# ΘΕΩΡΙΑ TERZAGHI





# ΘΕΩΡΙΑ TERZAGHI

ΙΣΟΡΡΟΦΙΑ ΙΤΟΙΧΕΙΩΔΟΥΣ ΠΡΙΣΜΑΤΟΣ

$$B \cdot \gamma \cdot dz = B \cdot (\sigma_v + d\sigma_v) - B \cdot \sigma_v + (2c + 2k \cdot \sigma_v \cdot \epsilon_{\varphi\varphi}) \cdot dz$$
$$(2 \cdot \tau_x = 2(c + \sigma_h \cdot \epsilon_{\varphi\varphi}))$$

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΤΑΣΕΩΣ

$$\frac{d\sigma_v}{dz} = \gamma - \frac{2 \cdot c}{B} - 2 \cdot k \cdot \sigma_v \cdot \frac{\epsilon_{\varphi\varphi}}{B} \quad (\sigma_v = f(z))$$

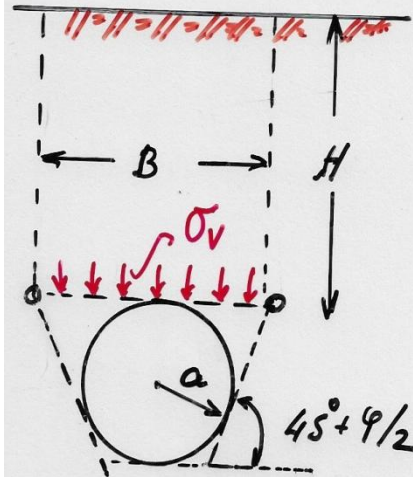
Για  $z=0$   $\sigma_v = q$  (φορτίον επιφανείας), οπότε:

$$\sigma_v = \frac{B(\gamma - 2c/B)}{2 \cdot k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi}} \cdot \left[ 1 - e^{-k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi} \cdot 2z/B} \right] + q \cdot e^{-k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi} \cdot 2z/B}$$

ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΦΗ (ΟΡΟΦΗ), όπου  $z = H$ :

$$\sigma_y = \frac{B \cdot (\gamma - 2c/B)}{2 \cdot k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi}} \cdot \left[ 1 - e^{-k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi} \cdot 2H/B} \right] + q \cdot e^{-k \cdot \epsilon_{\varphi\varphi} \cdot 2H/B}$$

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



$$D = 2a = 10 \text{ m}$$

$$H = 30 \text{ m}$$

$$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$K = 0.60$$

$$B \approx 20 \text{ m}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$i) c = 25 \text{ kPa}$$

$$ii) c = 100 \text{ kPa}$$

$$iii) c = 200 \text{ kPa}$$

i) Περίπτωση

$$\sigma_v = \frac{B(\gamma - \frac{2c}{B})}{2K \epsilon \varphi \varphi} \left[ 1 - e^{-K \epsilon \varphi \varphi \frac{2H}{B}} \right] \approx \underline{400 \text{ kPa}}$$

$$\sigma_{c,m} \approx 87 \text{ kPa},$$

$$\frac{\sigma_{c,m}}{\gamma H} = 0,12, \quad \frac{\sigma_v}{\rho_0} = 0,55$$

ii) Περίπτωση

$$\sigma_v = \underline{260 \text{ kPa}}$$

$$\frac{\sigma_{c,m}}{\gamma H} = 0,48, \quad \frac{\sigma_v}{\rho_0} = 0,36$$

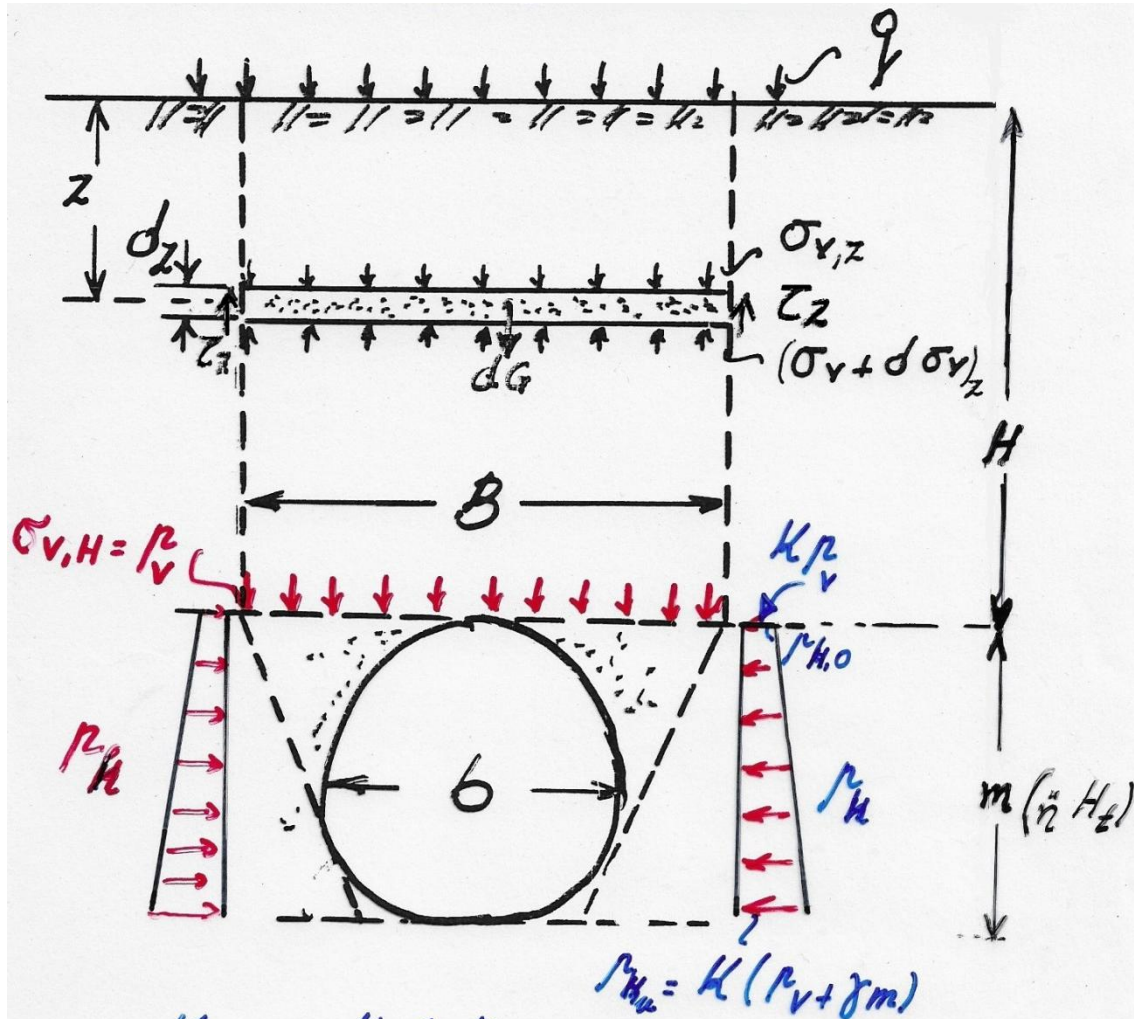
iii) Περίπτωση

$$\sigma_v = \underline{716 \text{ kPa}}$$

$$\frac{\sigma_{c,m}}{\gamma H} = 0,96, \quad \frac{\sigma_v}{\rho_0} \approx 0,10$$



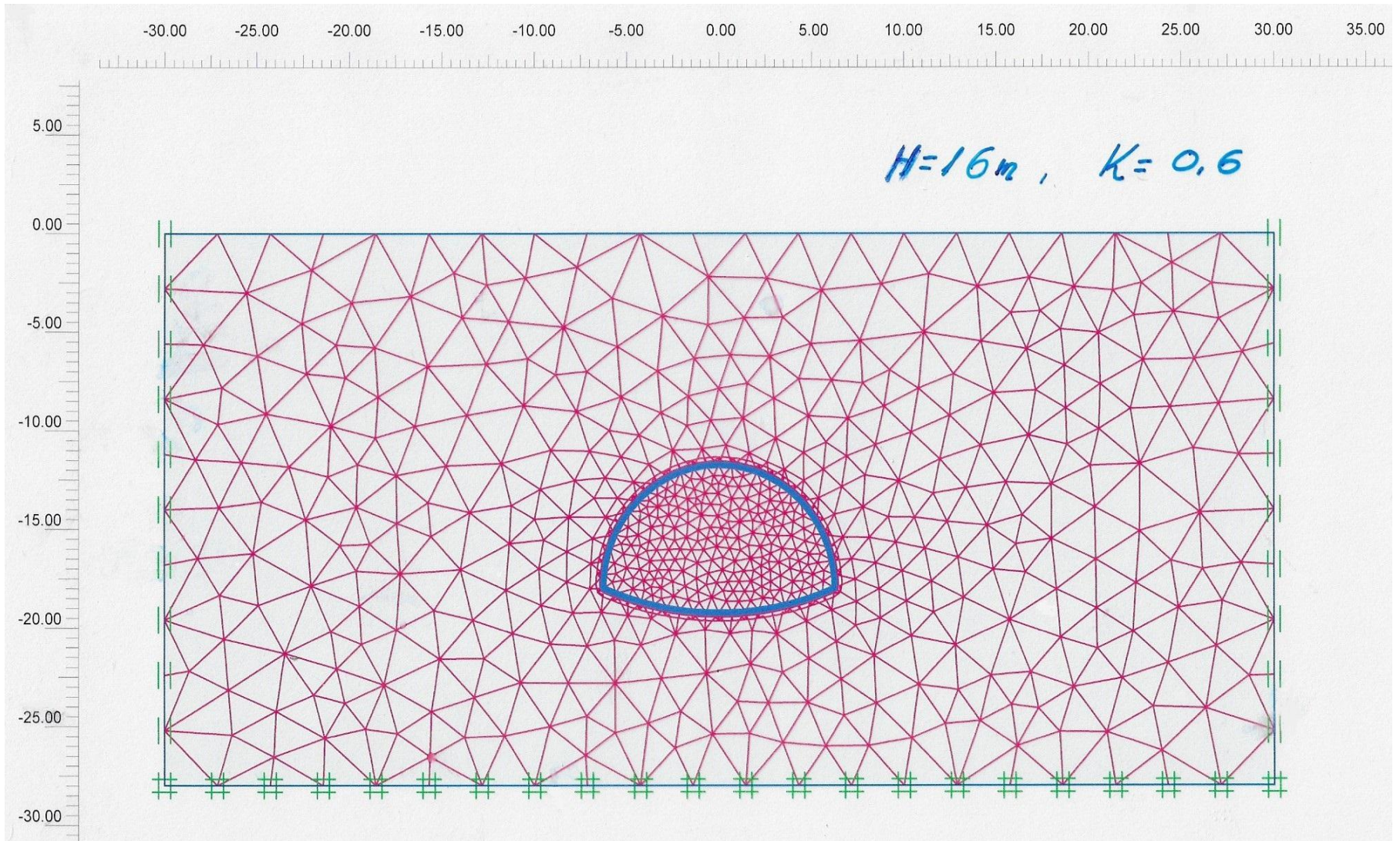
# ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΕΡΖΑΓΗ $\rho_h$



- Προβλεφιστικά:  $k = 0.3$
- Για  $c \approx 0$   $k = \epsilon \varphi^2 (45^\circ - \varphi/2)$
- Για συνεκτικά υλικά  $k \approx k_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$

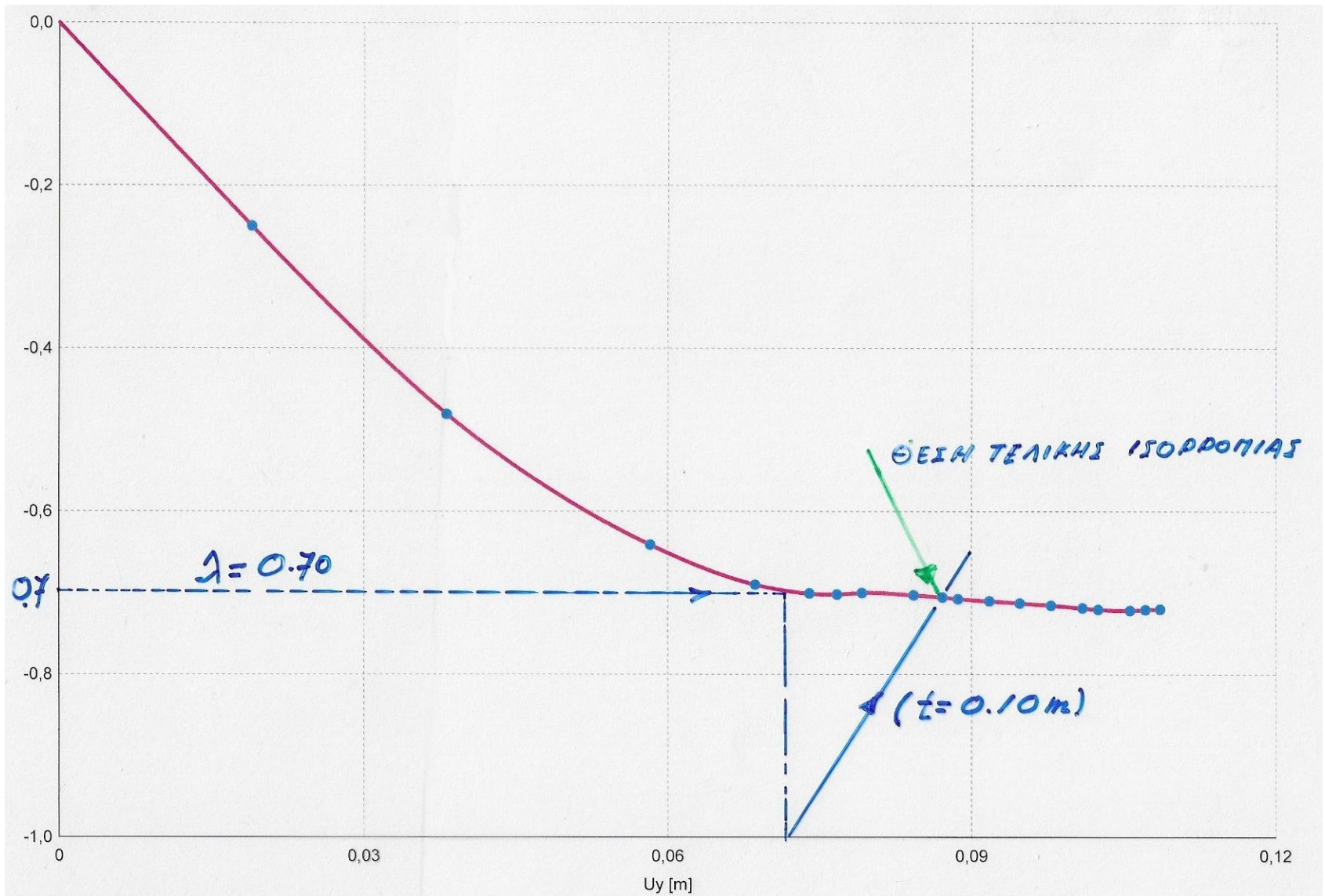


# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ F.E.M.

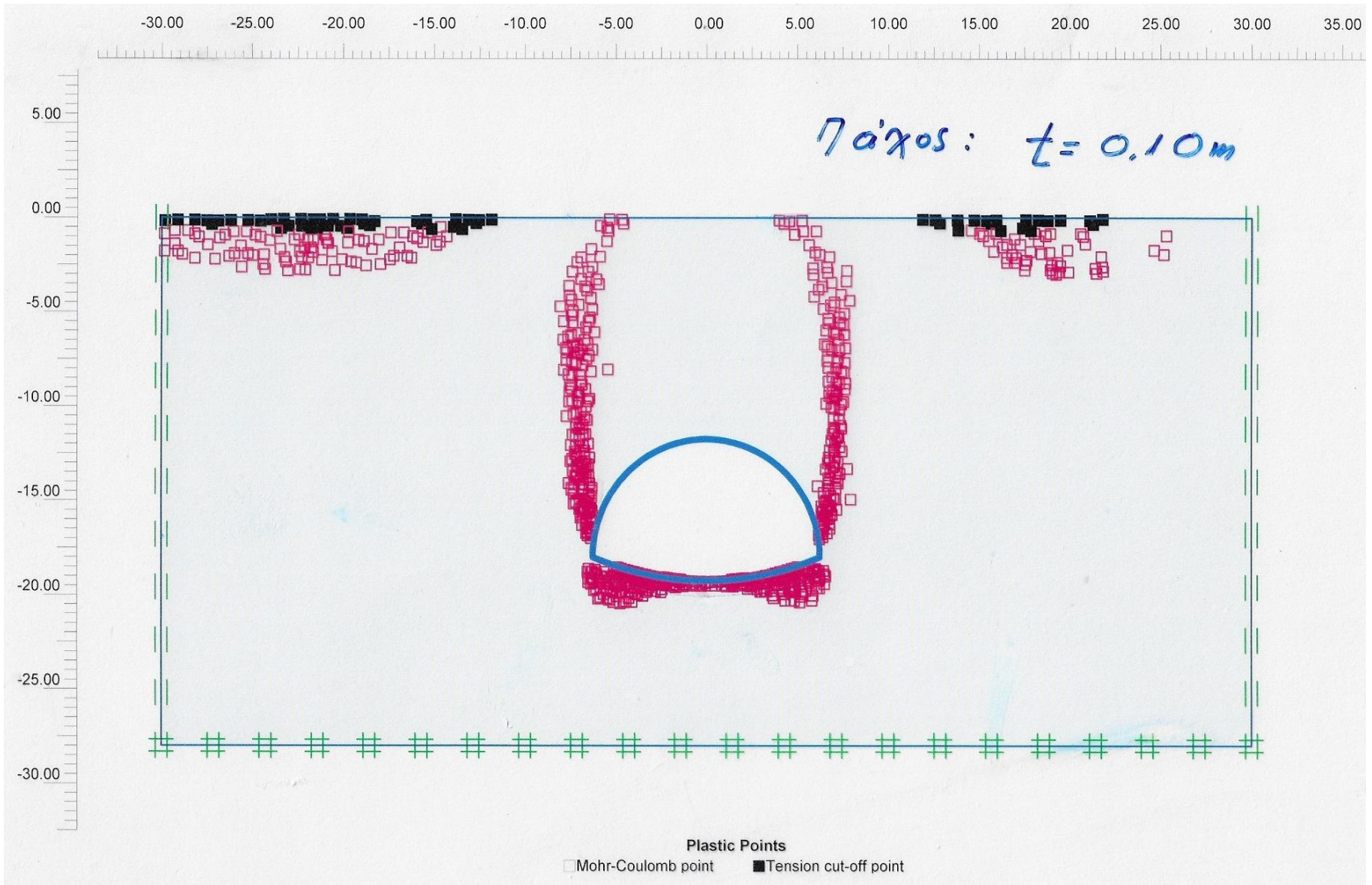




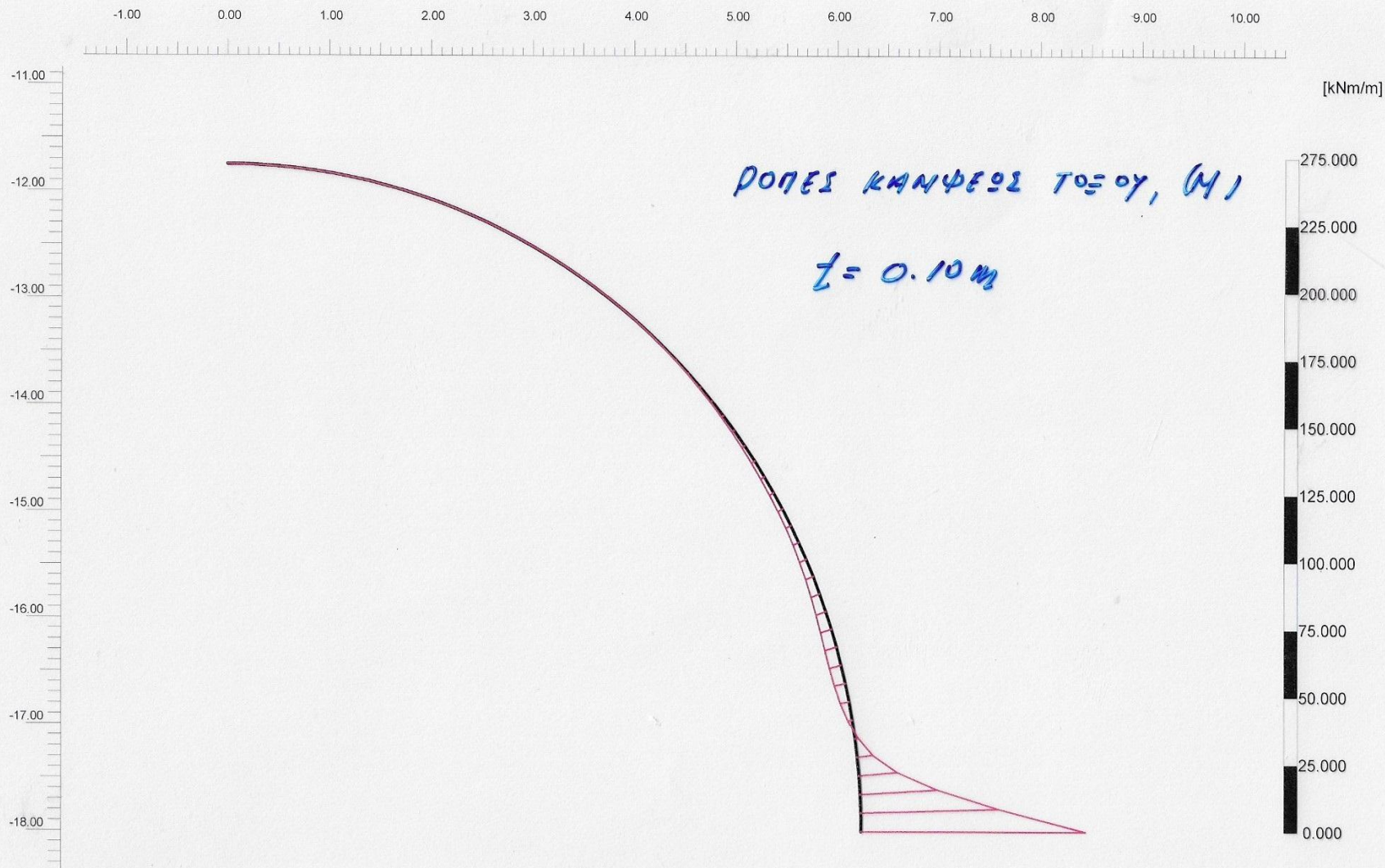
# ΓΡΑΜΜΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ-ΑΠΟΤΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ



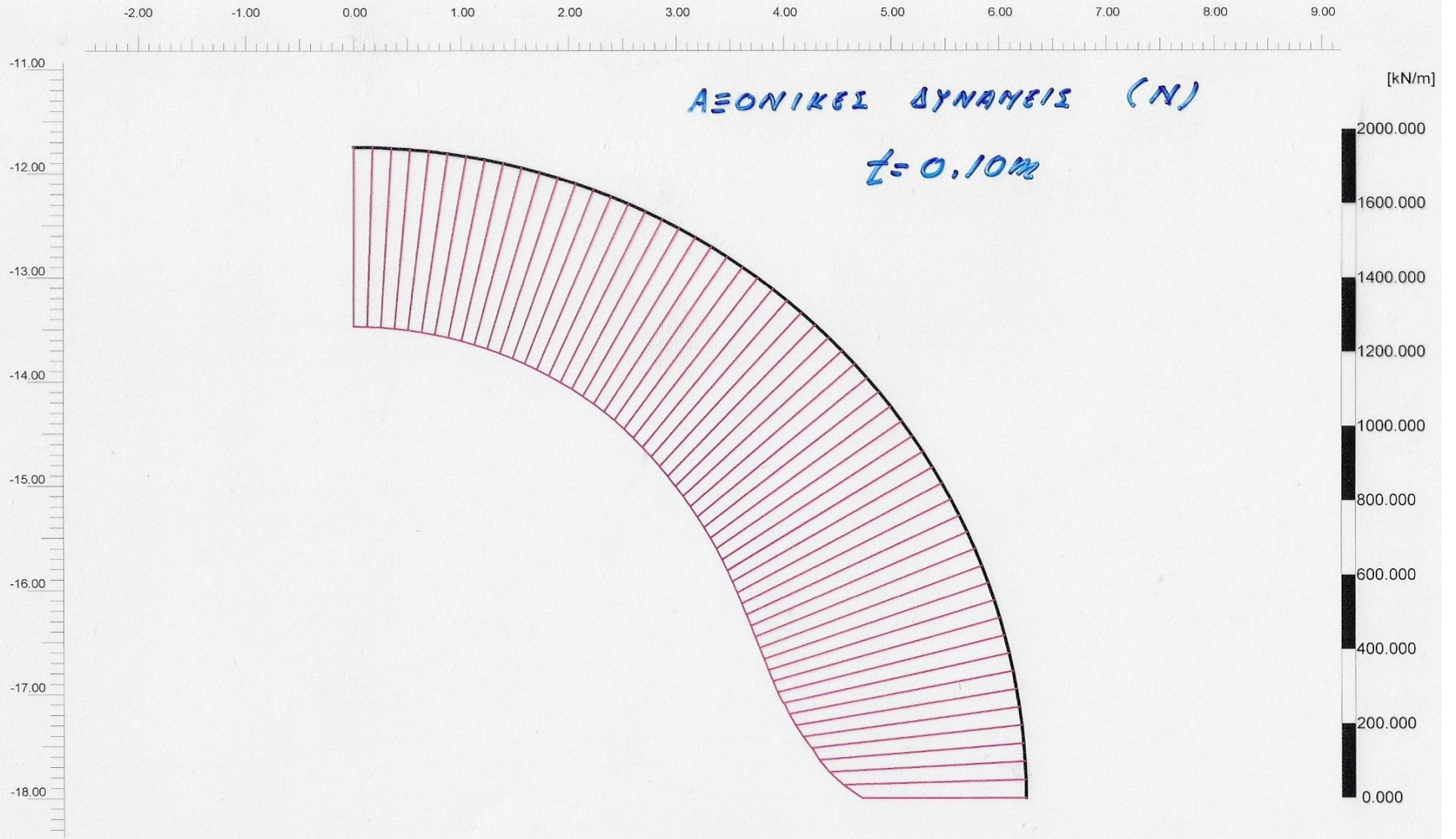
# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ





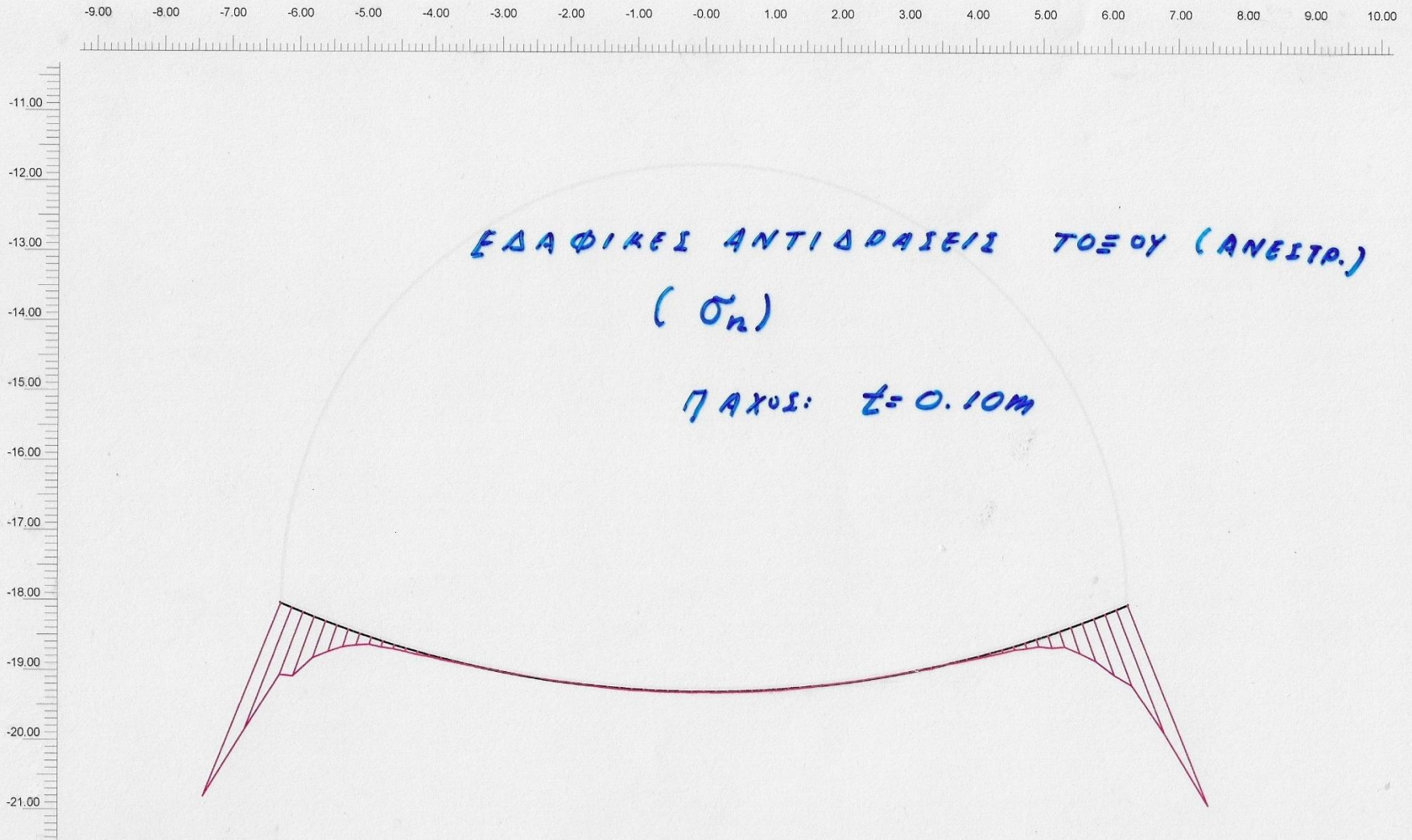


Bending moments  
Extreme bending moment 87.58 kNm/m



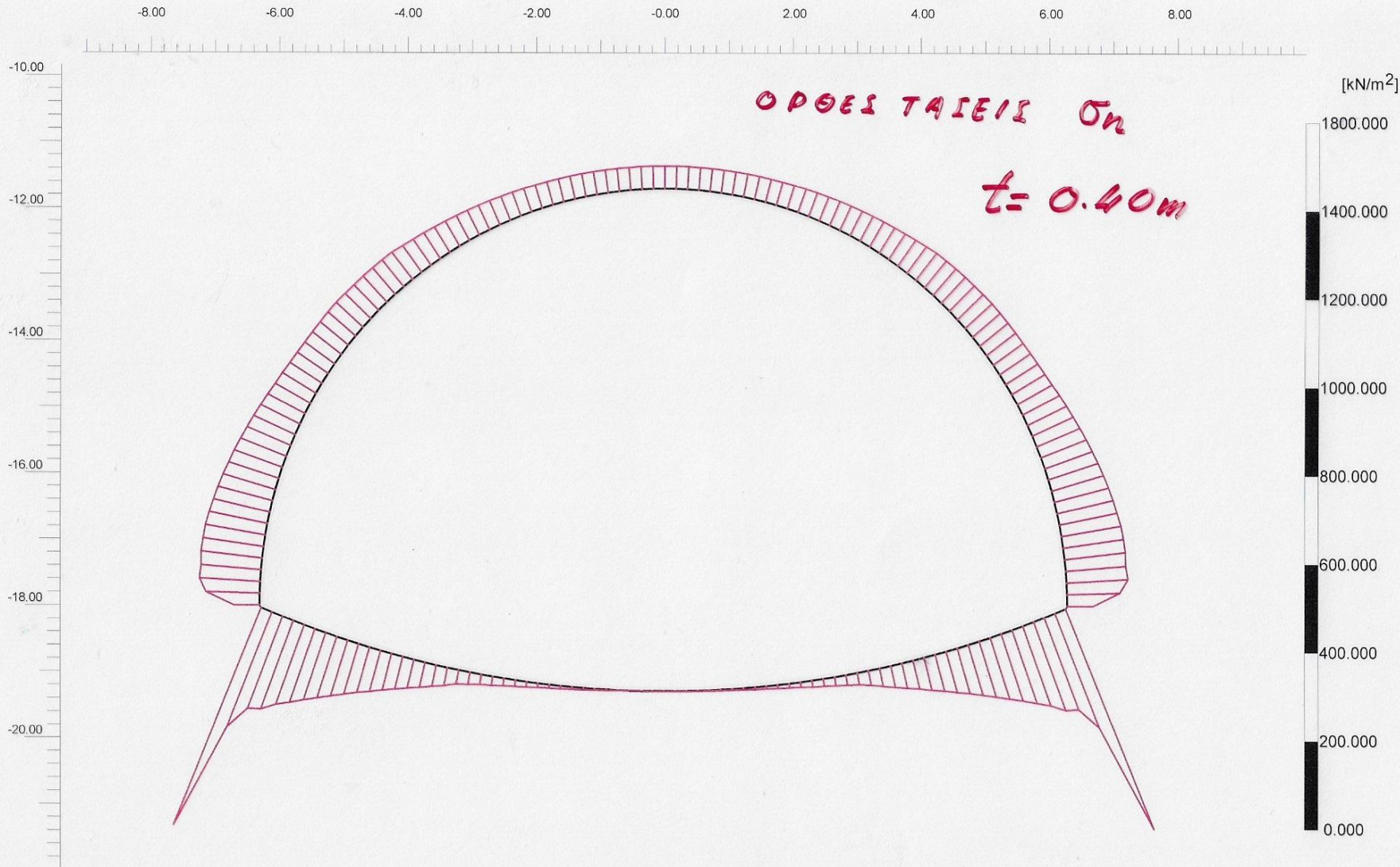
Axial forces  
Extreme axial force -618,68 kN/m





Effective normal stresses  
Extreme effective normal stress 801,81 kN/m<sup>2</sup>





Effective normal stresses  
Extreme effective normal stress 546,87 kN/m<sup>2</sup>

# ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΤΑ ΒΙΕΝΙΑWSKI (ΣΥΣΤΗΜΑ RMR)

Τάξη βραχομάζας (Κλίση)	Εκσκαφή / Προχώρηση	Ήλοι (20mm διάμετρος και πλήρη συνάφεια)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Χαλύβδινα πλαίσια
I – Πολύ καλή RMR: 81-100	Ολομέτωπη / 3m	Τοπικά μόνο	Γενικά δεν απαιτείται	
II – Καλή RMR: 61-80	Ολομέτωπη 1.0-1.5m. Πλήρης αντιστήριξη 20m από μέτωπο.	Τοπικά στην οροφή με μήκος 3m σε απόσταση 2.5m και περιστασιακά χαλύβδινο πλέγμα.	50mm στην οροφή όπου απαιτείται.	Όχι
III – Μέτρια RMR: 41-60	Άνω τμήμα και αναβαθμός / 1.5-3m στο άνω τμήμα. Αντιστήριξη αρχίζει μετά την έκρηξη, ολοκληρούται 10m από το μέτωπο.	Συστηματικοί ήλοι μήκους 4m σε κάναβο 1.5-2m στην οροφή και στα τοιχώματα και χαλύβδινο πλέγμα στην οροφή.	50-100mm στην οροφή και 30mm στα τοιχώματα.	όχι
IV – Πτωχή RMR: 21-40	Άνω τμήμα και αναβαθμός / 1-1.5m στο άνω τμήμα. Αντιστήριξη συγχρόνως με την εκσκαφή και ολοκλήρωση της σε απόσταση 10m από το μέτωπο.	Συστηματικοί ήλοι μήκους 4-5m σε κάναβο 1-1.5m στην οροφή και στα τοιχώματα και χαλύβδινο πλέγμα.	100-150mm στην οροφή και 100mm στα τοιχώματα.	Ελαφρά πλαίσια σε απόσταση 1.5m όπου απαιτείται.
V – Πολύ πτωχή RMR: <20	Πολλαπλές διανοίξεις / 0.5-1.5m στο άνω τμήμα. Τοποθέτηση της υποστήριξης ταυτόχρονα με εκσκαφή. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα όσο το δυνατό πιο γρήγορα μετά την έκρηξη	Συστηματικοί ήλοι μήκους 5-6m σε κάναβο 1-1.5m στην οροφή και στα τοιχώματα και χαλύβδινο πλέγμα. Ήλωση του ανάστροφου τόξου.	150-200mm στην οροφή και 150mm στα τοιχώματα και 50mm στο μέτωπο.	Μεσαία ως βαριά πλαίσια σε αποστάσεις 0.75m. Τοποθέτηση δοκών προπορείας και πλακών προστασίας από καταπτώσεις όπου απαιτούνται. Κλειστό δάπεδο.

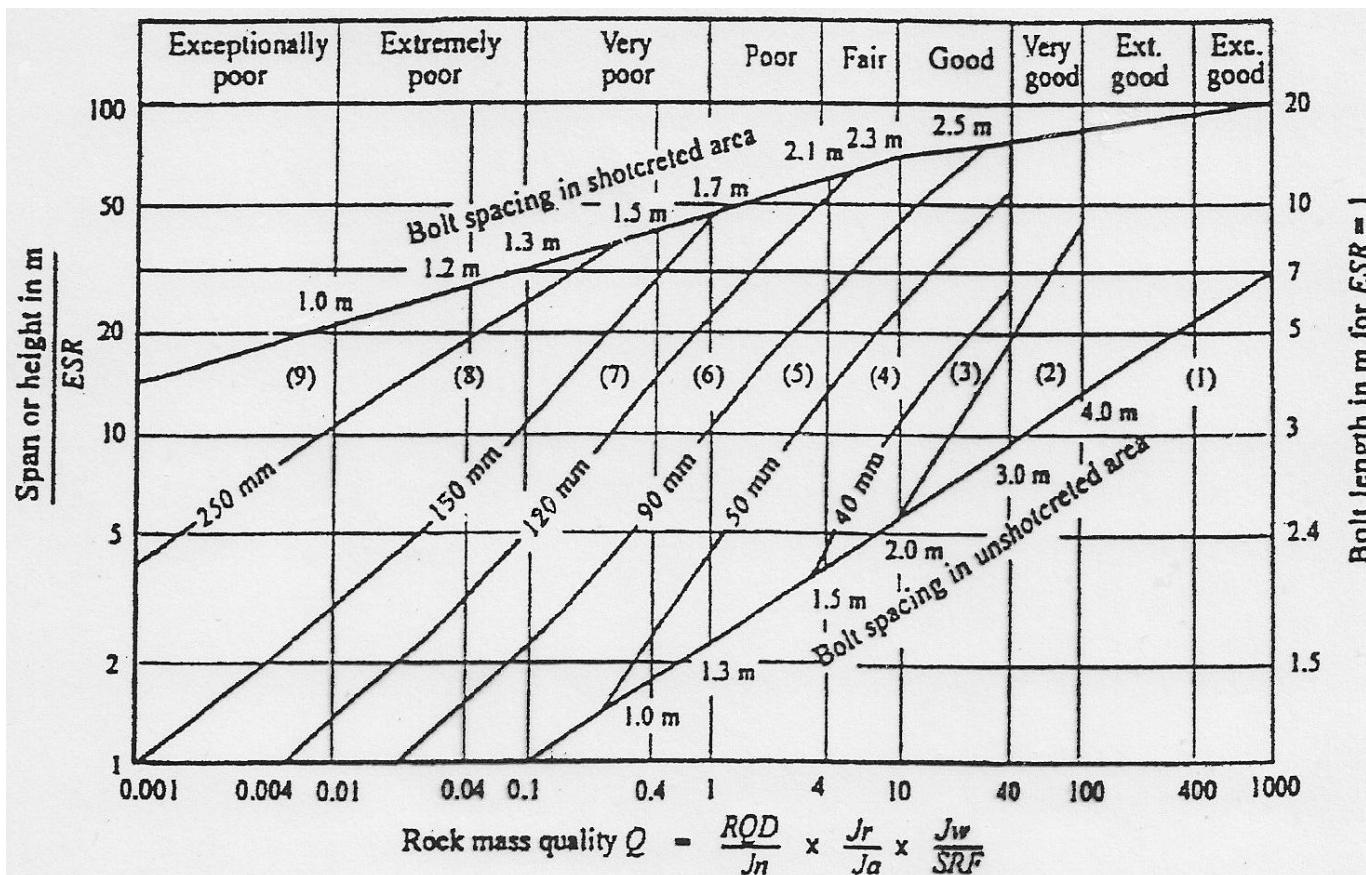
## Συστάσεις για “μέση” περίπτωση:

- Διατομή πεταλοειδής,  $B \approx 10 \text{ m}$
- $p_o < 25 \text{ MPa}$
- Μέθοδος διανοίξεως συμβατική

# ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑ BARTON (1993)

(Χρήση ινοπλισμένου εκτοξευμένου σκυροδέματος)

Εκτιμώμενες κατηγορίες υποστήριξης με βάση τον δείκτη ποιότητας Q

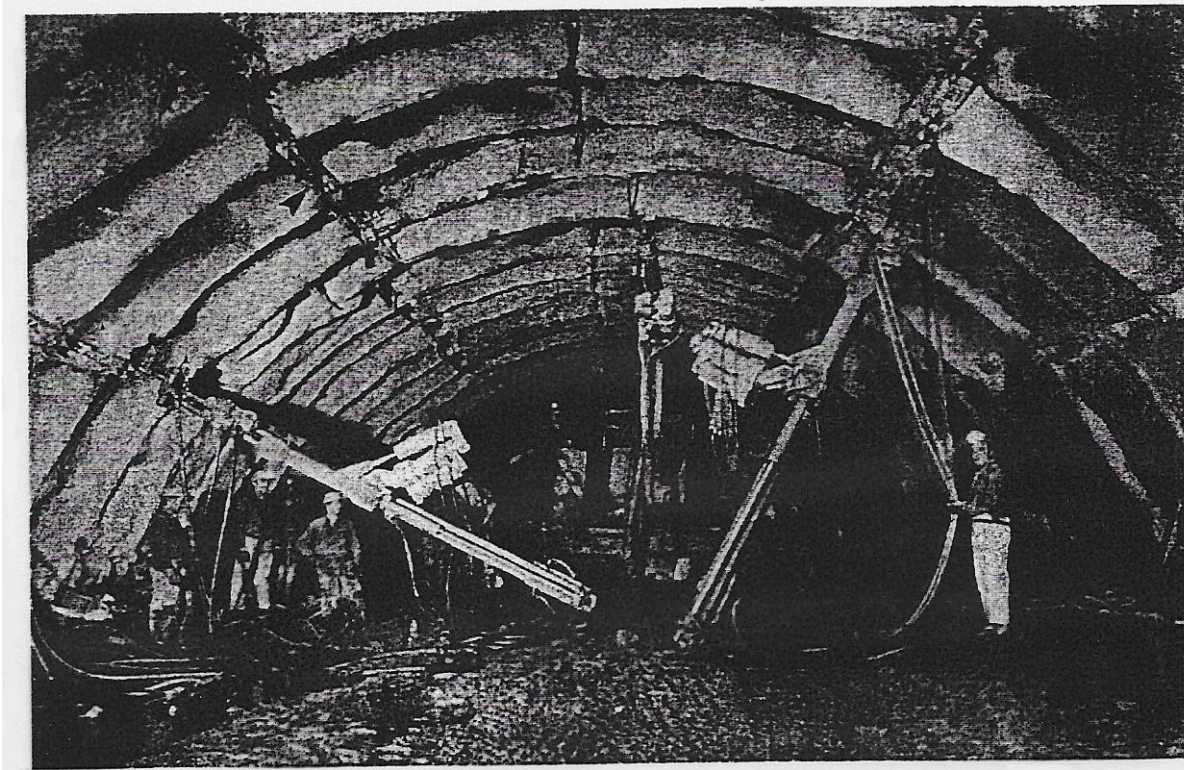


## REINFORCEMENT CATEGORIES

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Unsupported</li> <li>2) Spot bolting</li> <li>3) Systematic bolting</li> <li>4) Systematic bolting with 40-100 mm unreinforced shotcrete</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5) Fibre reinforced shotcrete, 50 - 90 mm, and bolting</li> <li>6) Fibre reinforced shotcrete, 90 - 120 mm, and bolting</li> <li>7) Fibre reinforced shotcrete, 120 - 150 mm, and bolting</li> <li>8) Fibre reinforced shotcrete, &gt; 150 mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting</li> <li>9) Cast concrete lining</li> </ul> |
|---|---|



# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΝΑΤΜ ΣΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΗΣ ΤΑΟΥΕΡΝ ΤΗΣ ΑΥΣΤΡΙΑΣ

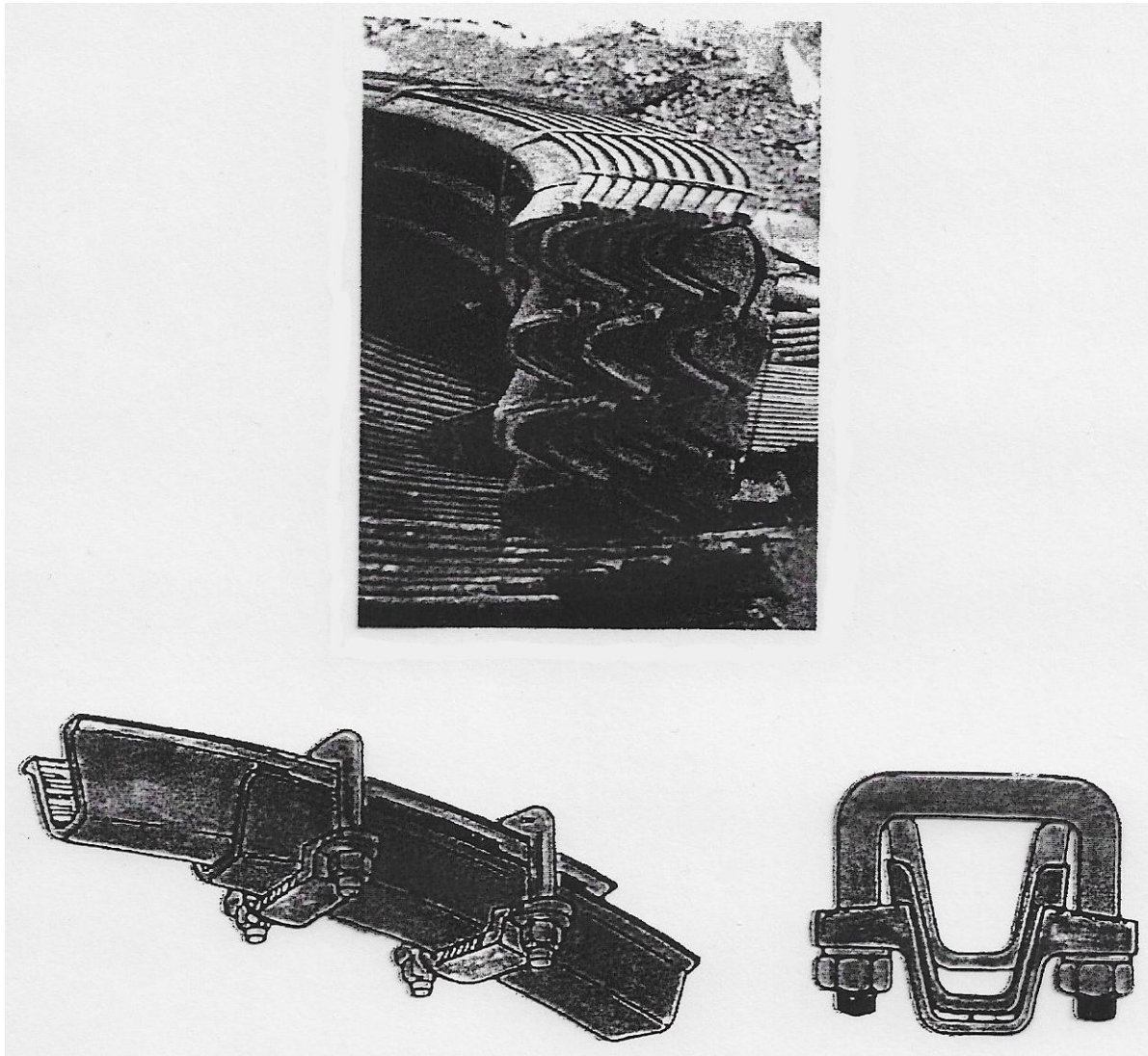


Εξωτερικός δακτύλιος στο θόλο της σήραγγας (τμηματική εκσκαφή):

α) Επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (ενισχυμένη με δομικό πλέγμα), χαλύβδινα τόξα και σύστημα αγκυρίων.

β) Διαμήκεις εγκοπές στο σκυρόδεμα (βέλος) και ολισθαίνοντα πλαίσια επιτρέπουν την απαραίτητη για την εκτόνωση των πιέσεων μείωση της ακτίνας του εξωτερικού δακτυλίου.

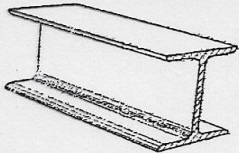
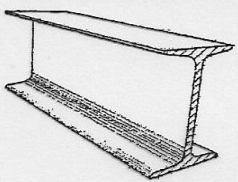
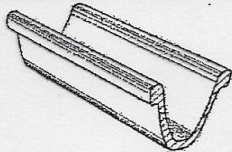
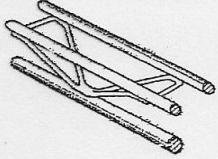
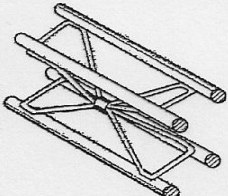
γ) Φάση συμπληρωματικής ενίσχυσης του συστήματος αγκυρίων (Rabczewicz, Pacher, 1976).



*Χαλύβδινες διατομές T-H (Toussaint-Heintzmann) έτοιμες για συναρμολόγηση και λεπτομέρειες ολισθαινόντων πλαισίων.*



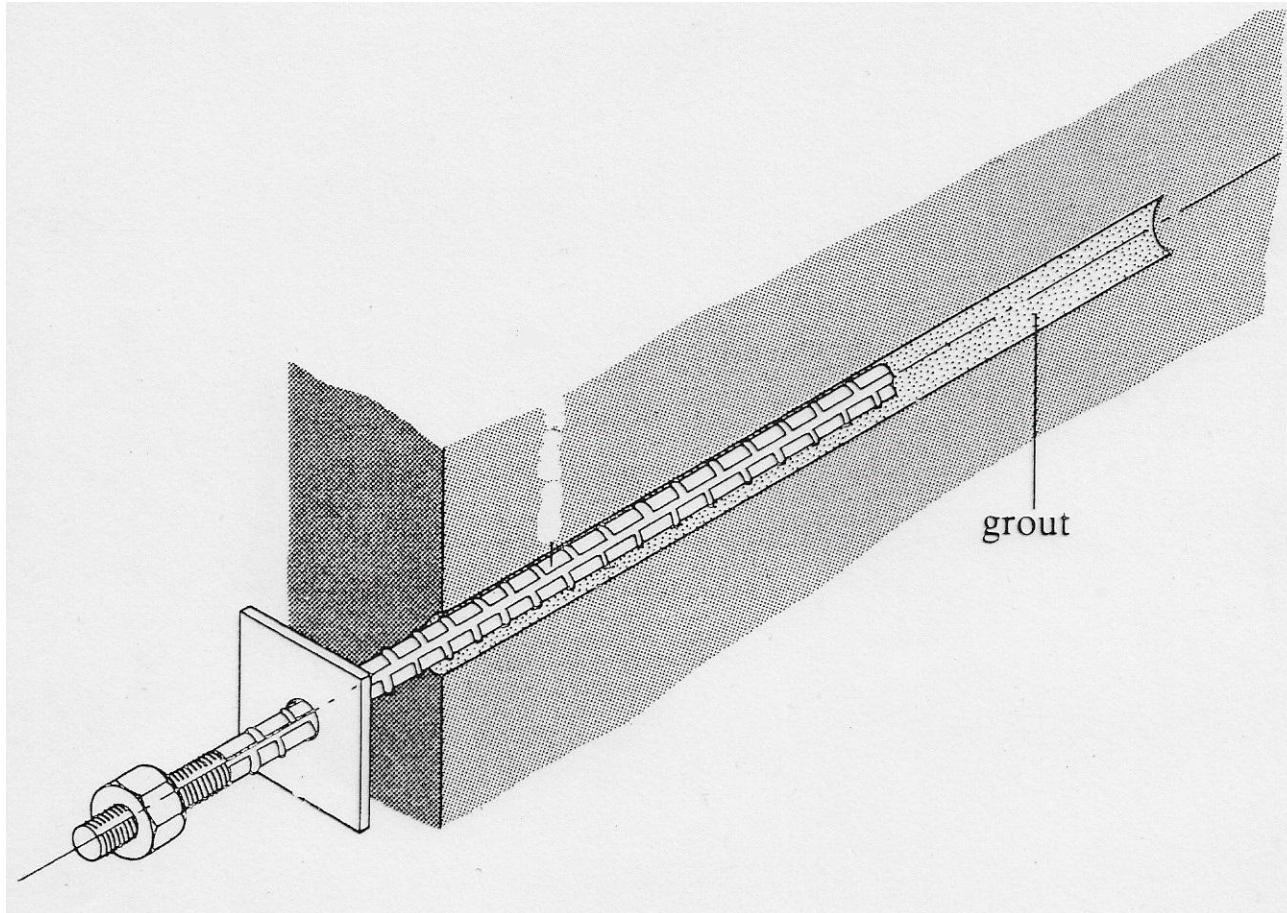
# ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Support type	Flange width - mm	Section depth - mm	Weight - kg/m	Curve number	Maximum support pressure $p_{i\max}$ (MPa) for a tunnel of diameter $D$ (metres) and a set spacing of $s$ (metres)
 Wide flange rib	305	305	97	1	$p_{i\max} = 19.9D^{-1.23}/s$
	203	203	67	2	$p_{i\max} = 13.2D^{-1.3}/s$
	150	150	32	3	$p_{i\max} = 7.0D^{-1.4}/s$
 I section rib	203	254	82	4	$p_{i\max} = 17.6D^{-1.29}/s$
	152	203	52	5	$p_{i\max} = 11.1D^{-1.33}/s$
 TH section rib	171	138	38	6	$p_{i\max} = 15.5D^{-1.24}/s$
	124	108	21	7	$p_{i\max} = 8.8D^{-1.27}/s$
 3 bar lattice girder	220	190	19	8	$p_{i\max} = 8.6D^{-1.03}/s$
	140	130	18		
 4 bar lattice girder	220	280	29	9	$p_{i\max} = 18.3D^{-1.02}/s$
	140	200	26		

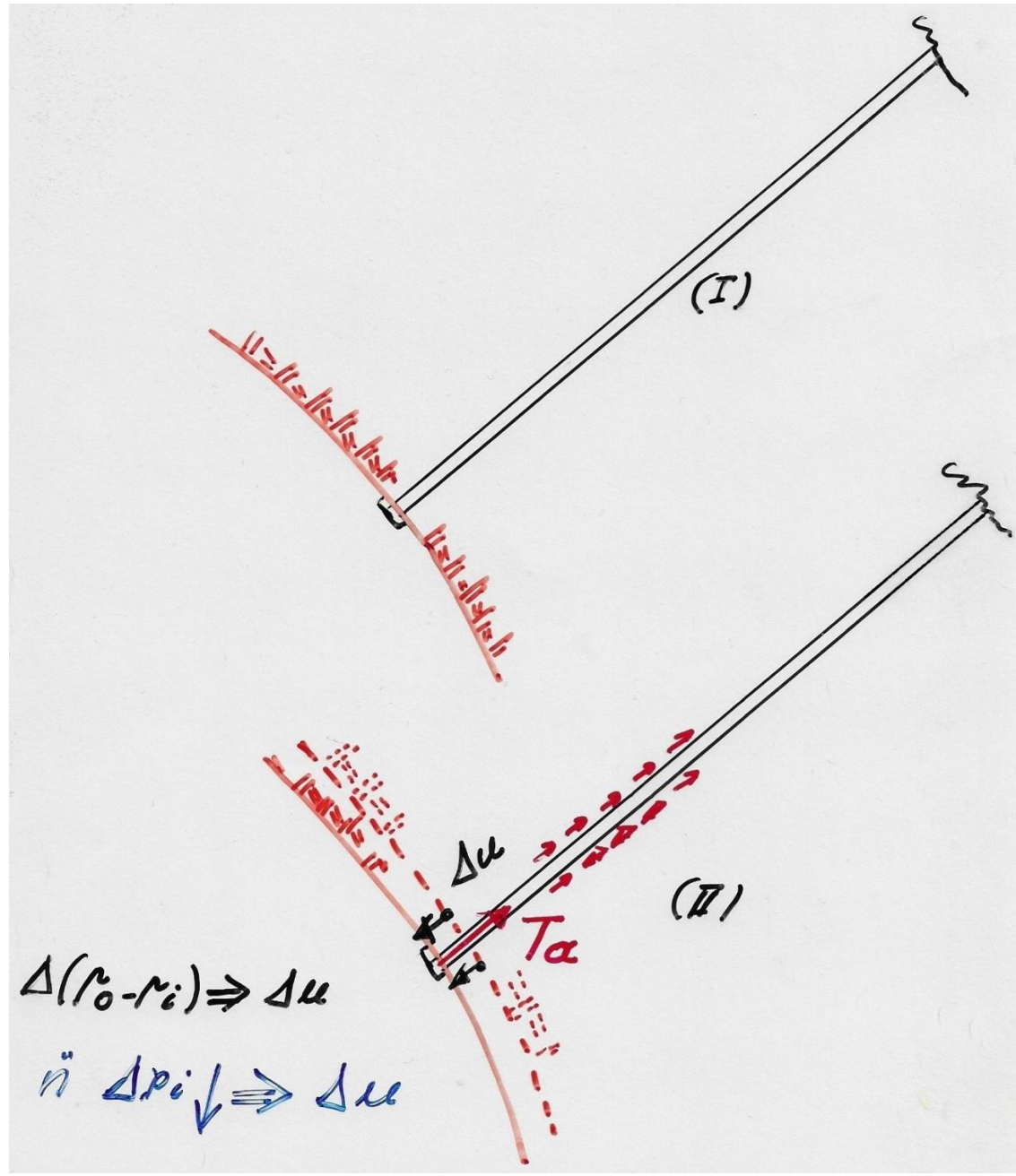
**ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ  
ΓΡΑΜΜΗ ΣΥΓΚΛΙΣΕΩΣ-ΑΠΟΤΟΝΩΣΕΩΣ**



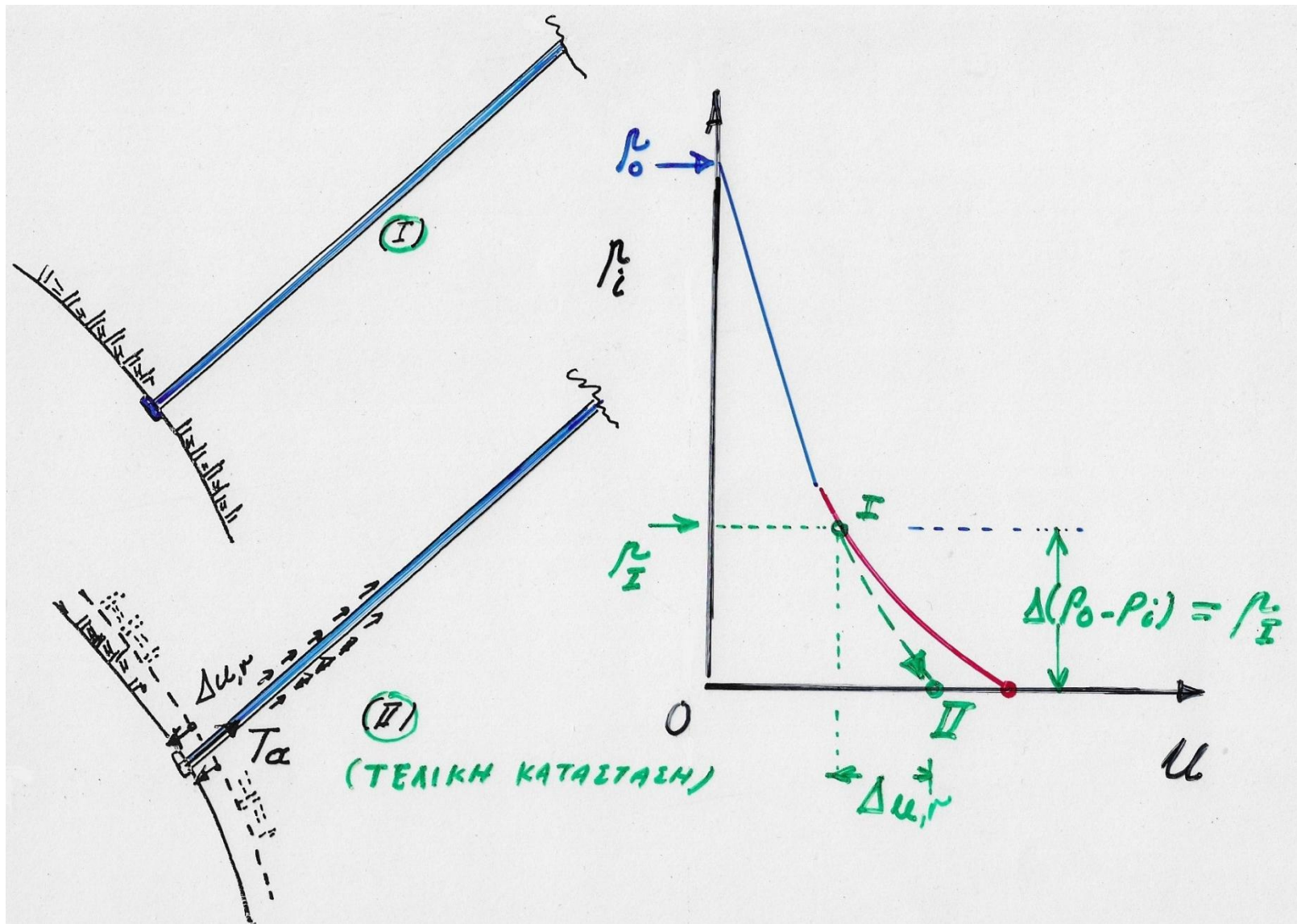
# ΑΓΚΥΡΙΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ



# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ



# ΓΡΑΜΜΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ-ΑΠΟΤΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΑΓΚΥΡΙΑ





# ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Χώμα βολ αγκυρίων:  $l_x \cdot l_y$   
Μήκος:  $L$   
Διατομή:  $F_a$   
Μ. Ελαστικότητας:  $E_a$

Για τελική δύναμη (έφελευστοῦ):  $T_a$ :

- Τόση διατομή  $\sigma = \frac{T_a}{F_a}$
- Ανεκτίμη παραμόρφωση:  $\epsilon = \frac{\Delta l}{L} = \frac{\sigma}{E_a} = \frac{T_a}{F_a E_a}$
- Για  $\Delta l \approx \Delta u$

Έκπληκτη μέση "αναλαμβανόμενα" πίεση:  $\mu_a$

$$\mu_a = \frac{T_a}{l_x l_y} \Rightarrow \Delta u = \mu_a \cdot \frac{l_x \cdot l_y \cdot L}{F_a \cdot E_a}$$

$$\mu_a \cdot \frac{\Delta u}{\mu_a} = \frac{l_x l_y L}{F_a E_a} \quad (1)$$

Για μεταβολή πίεσης  $\Delta(\mu_0 - \mu_i)$ :

$$\Delta(\mu_0 - \mu_i) = \mu_a + \mu_s$$

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Από την (1):  $\frac{\Delta u_a}{r_a} = \frac{1}{k_a} \quad \left( \frac{m}{MPa} \text{ ή } \frac{cm}{MPa} \right)$

Αντίστοιχα για την βραχομάζα:

$$\Delta u_s = \frac{(1+\nu) \cdot a \cdot r_s}{E} \quad (2)$$

$$\text{ή} \quad \frac{\Delta u_s}{r_s} = \frac{1}{k_s}$$

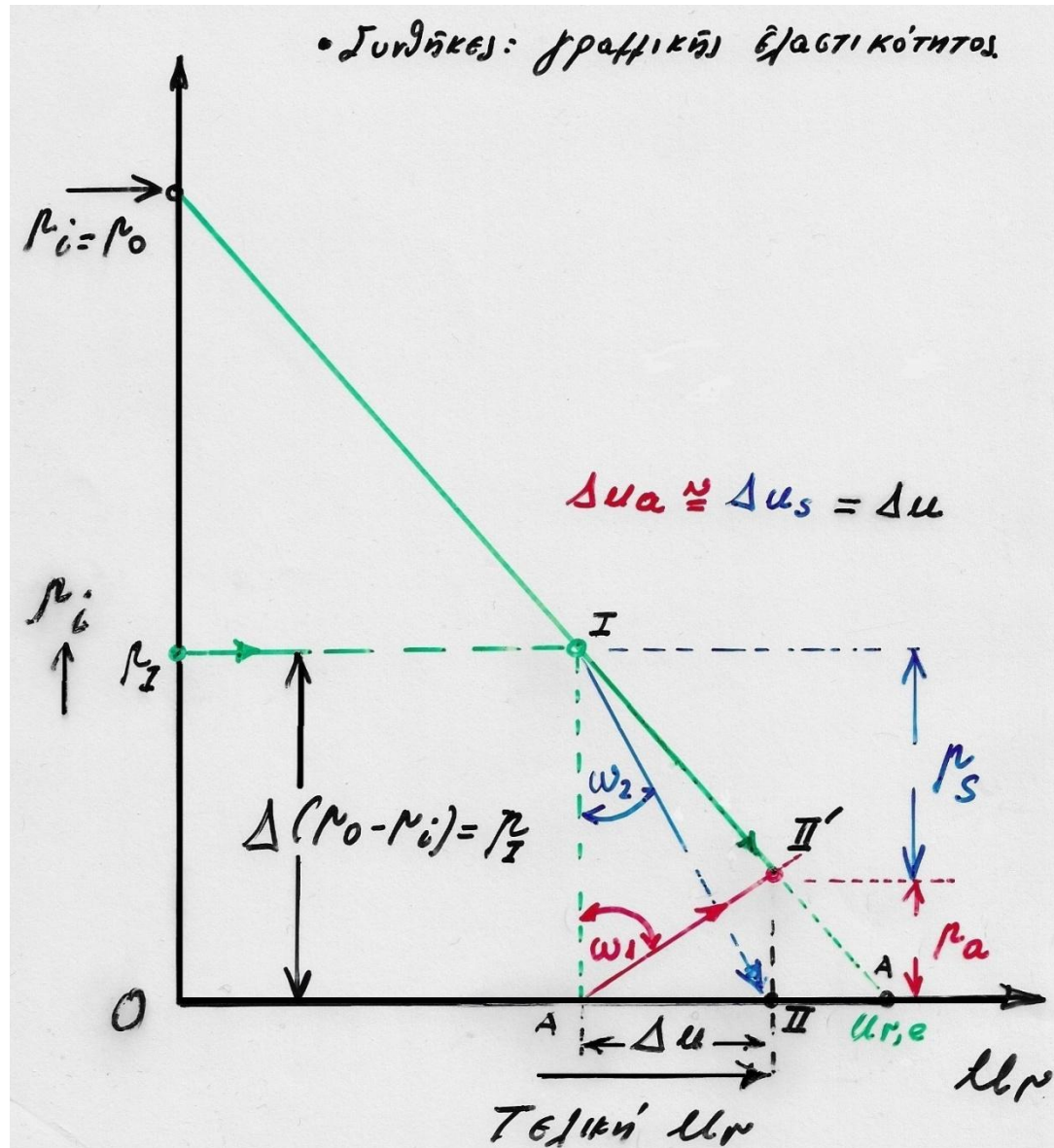
Για ίσες παραμορφώσεις αγκυρίου-βράχου:

$$\frac{r_a}{k_a} = \frac{r_s}{k_s}, \quad r_a + r_s = \Delta (r_o - r_i) \text{ άρα:}$$

$$r_a = \frac{k_a}{k_a + k_s} \cdot \Delta (r_o - r_i)$$

$$r_s = \frac{k_s}{k_a + k_s} \cdot \Delta (r_o - r_i)$$

# Εναλλακτική γραφική παράσταση

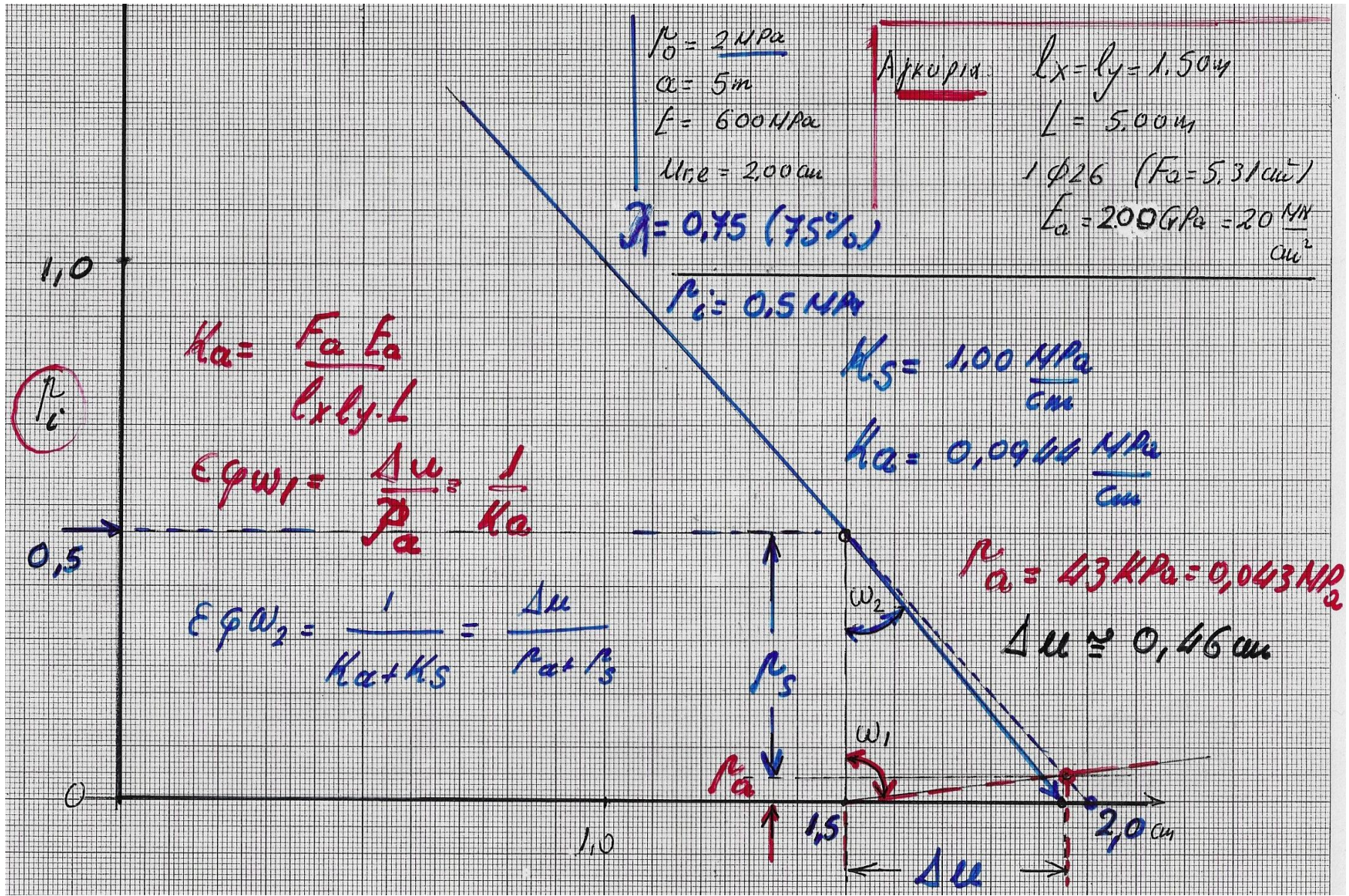


$$\epsilon\phi\omega_1 = \Delta u / p_a = 1 / K_a$$

$$\epsilon\phi\omega_2 = \Delta u / \Delta(p_0 - p_i) = 1 / (K_a + K_s) \quad (\text{Έδαφος} + \text{αγκύριο: σύνολο})$$

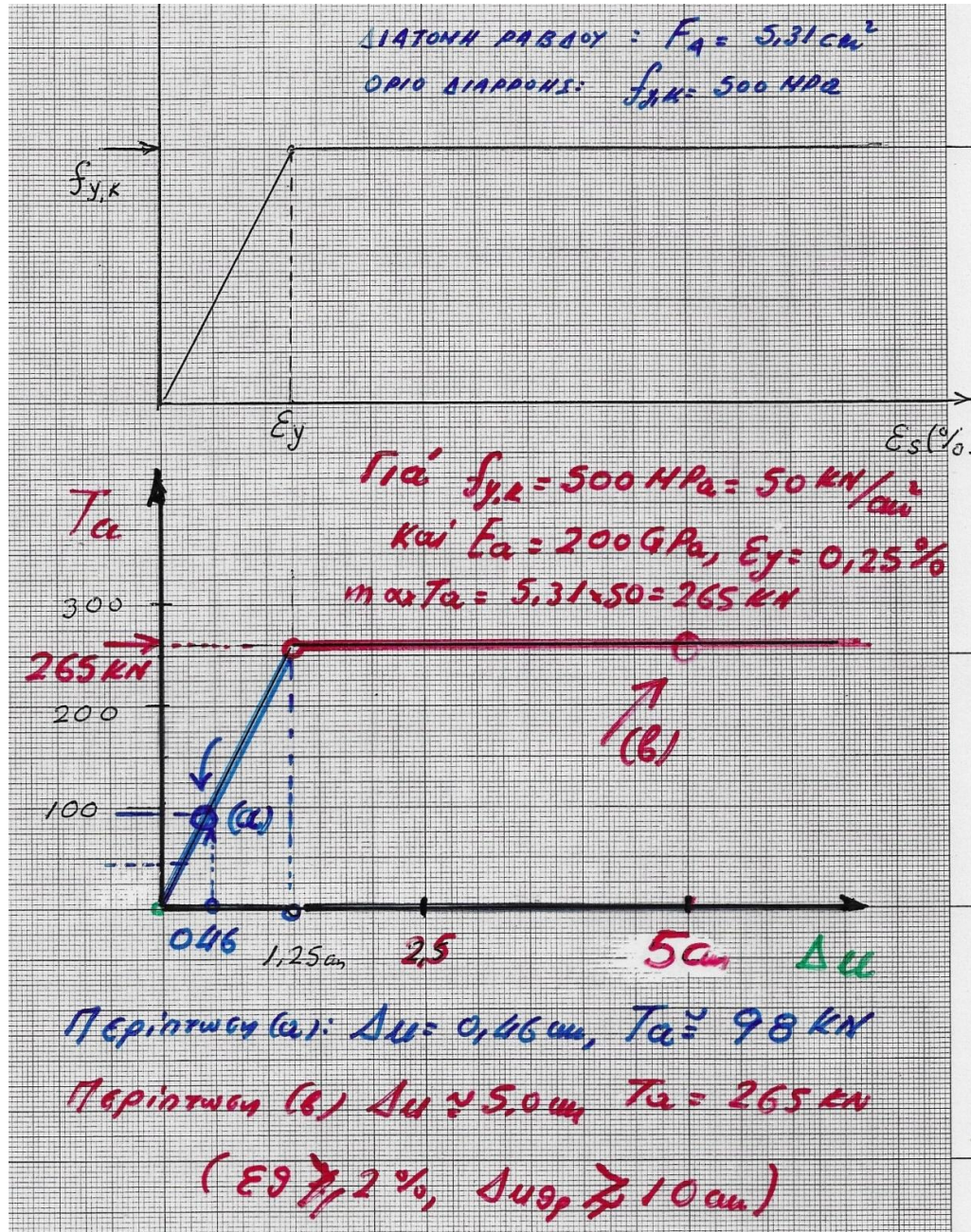


# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ





# ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΓΚΥΡΙΩΝ





# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

$\lambda = 75\% \Rightarrow \mu_i = 0,5 \text{ MPa} \text{ (} \rho_0 = 2 \text{ MPa)}$

$\max T_a = 265 \text{ kN}$

$\mu_a = \frac{265}{1,5 \times 1,5} \approx 118 \text{ kPa}$

$\mu_i$

0,5

0,8

0,6

0,4

0,2

0

$\mu_s = 382 \text{ kPa}$

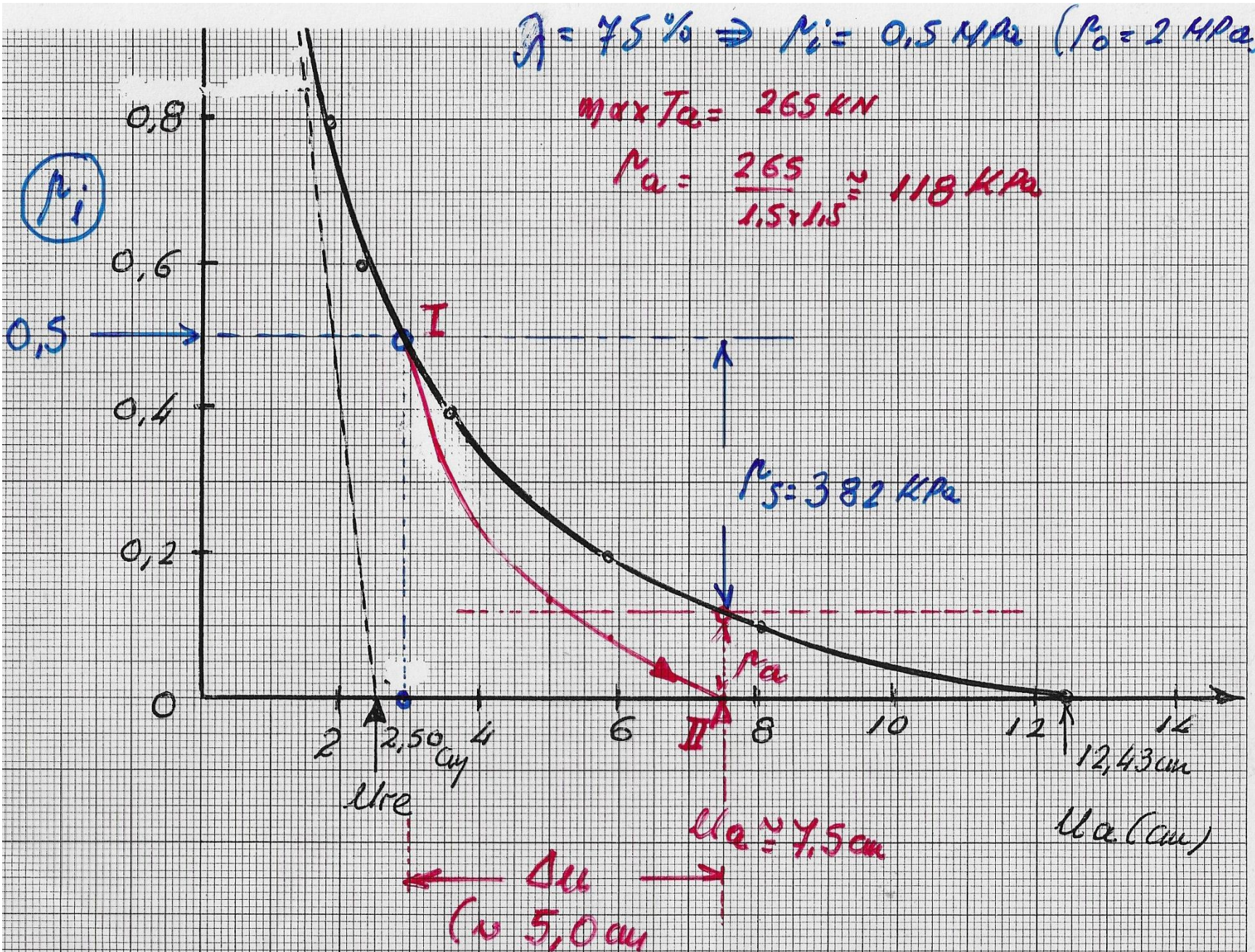
2,50 cm

$u_{re}$

$u_a \approx 7,5 \text{ cm}$

$u_a \text{ (cm)}$

$\Delta u \approx 5,0 \text{ cm}$





# ΣΥΝΘΕΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΙΑ

